



(10) **DE 10 2012 205 576 A1** 2013.10.10

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2012 205 576.2**

(22) Anmeldetag: **04.04.2012**

(43) Offenlegungstag: **10.10.2013**

(51) Int Cl.: **B60T 13/74 (2012.01)**

**B60T 8/172 (2012.01)**

(71) Anmelder:

**Robert Bosch GmbH, 70469, Stuttgart, DE**

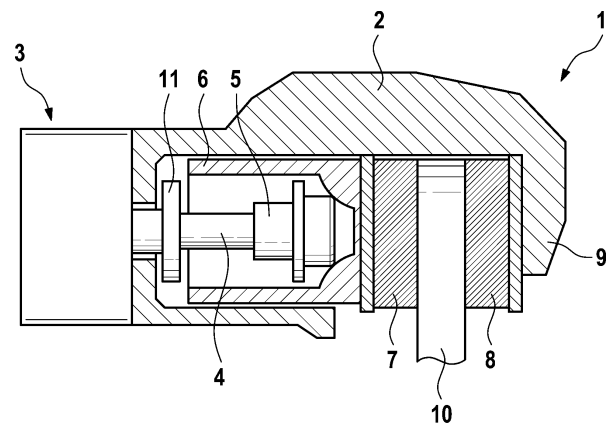
(72) Erfinder:

**Baehrle-Miller, Frank, 71101, Schönaich, DE; Blessing, Peter, 74078, Heilbronn, DE; Engelmann, Matthias, 74257, Untereisesheim, DE**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Bereitstellen der von einer Feststellbremse erzeugten Klemmkraft**

(57) Zusammenfassung: Bei einem Verfahren zum Bereitstellen der von einem elektrischen Bremsmotor in einer Feststellbremse erzeugten Klemmkraft wird die Klemmkraft als Funktion der Motorkonstanten des Bremsmotors unter Zugrundelegung von aktuellen Messwerten des Motorstroms und der Motorspannung bestimmt.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Bereitstellen der von einer Feststellbremse in einem Fahrzeug erzeugten Klemmkraft.

## Stand der Technik

**[0002]** Aus der DE 10 2006 052 810 A1 ist ein Verfahren zum Abschätzen der von einem elektrischen Bremsmotor erzeugten Klemmkraft einer Feststellbremse bekannt. Der elektrische Bremsmotor stellt einen Bremskolben, der Träger eines Bremsbelages ist, und drückt den Bremskolben gegen eine Bremsscheibe. Um die Klemmkraft bestimmen zu können, werden der Strom, die Versorgungsspannung des Bremsmotors sowie die Motordrehzahl gemessen, anschließend wird die Klemmkraft aus einem Differenzialgleichungssystem ermittelt, welches das elektrische und das mechanische Verhalten des Bremsmotors beschreibt.

**[0003]** Um die Klemmkraft möglichst genau bestimmen zu können, muss die Motorkonstante des elektrischen Bremsmotors bekannt sein, deren Wert Fertigungstoleranzen unterliegt und außerdem alterungs- und temperaturbedingt schwanken kann.

## Offenbarung der Erfindung

**[0004]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, mit einfachen Maßnahmen die Klemmkraft in einer Feststellbremse, welche einen elektrischen Bremsmotor aufweist, mit hoher Genauigkeit bereitzustellen.

**[0005]** Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen des Anspruches 1 gelöst. Die Unteransprüche geben zweckmäßige Weiterbildungen an.

**[0006]** Das erfindungsgemäße Verfahren bezieht sich auf elektromechanische Feststellbremsen in Fahrzeugen, über die eine das Fahrzeug im Stillstand festsetzende Klemmkraft erzeugbar ist. Die Feststellbremse weist einen elektrischen Bremsmotor auf, über den auf elektromechanischem Wege die Klemmkraft generiert wird. Bei einer Betätigung des Bremsmotors wird ein Bremskolben, der Träger eines Bremsbelages ist, gegen eine Bremsscheibe gedrückt. Die Feststellbremse kann ggf. mit einer Zusatzbremseinrichtung ausgestattet sein, um ergänzend eine Zusatzklemmkraft zu erzeugen, so dass sich die Gesamtklemmkraft aus dem elektromechanisch vom Bremsmotor gestellten Anteil und der Zusatzklemmkraft zusammensetzt. Bei der Zusatzbremseinrichtung handelt es sich beispielsweise um eine hydraulische Bremseinrichtung, insbesondere die hydraulische Fahrzeugbremse, über die im regulären Fahrbetrieb eine das Fahrzeug abbremsen-

de Bremskraft erzeugt wird. Der hydraulische Druck wirkt hierbei auf den Bremskolben.

**[0007]** Beim erfindungsgemäßen Verfahren wird die Motorkonstante des elektrischen Bremsmotors, die zur Ermittlung der Klemmkraft wesentlich ist, aus aktuellen Messwerten des Motorstroms und der Motorspannung ermittelt. Die Messwerte werden während einer Betätigung des Bremsmotors gemessen. Es werden der Leerlaufstrom und die Leerlaufspannung während einer Leerlaufphase des Bremsmotors und der Motorstrom während einer dynamischen Stromänderungsphase ermittelt. Damit stehen ausreichend Informationen zur Verfügung, um den aktuellen Wert der Motorkonstanten berechnen zu können. Die Motorkonstante ist temperatur- und alterungsabhängig, außerdem unterliegt der an sich bekannte Wert der Motorkonstanten Fertigungstoleranzen. Die Motorkonstante kann über die Messwerte von Motorstrom und Motorspannung mit hoher Genauigkeit bestimmt werden, außerdem kann die Klemmkraft mit einer entsprechend hohen Genauigkeit berechnet werden. Hierbei wird zunächst das Motorlastmoment und daraus unter Berücksichtigung der Getriebeuntersetzung die wirksame Klemmkraft errechnet. Als Messgrößen genügen grundsätzlich der Strom und die Spannung im elektrischen Bremsmotor.

**[0008]** In der Leerlaufphase des Bremsmotors können der Leerlaufstrom und die Leerlaufspannung mit hoher Genauigkeit ermittelt werden. Die Leerlaufphase liegt vor, wenn der Betrag des Gradienten des Motorstroms bzw. der Motorspannung zumindest annähernd gleich null ist bzw. einen zugeordneten Schwellenwert unterschreitet. In der dynamischen Stromänderungsphase werden dagegen zweckmäßigerweise mehrere Strommesswerte ermittelt und der Berechnung der Motorkonstanten zu Grunde gelegt. Damit liegt eine ausreichend große Datenbasis vor, um mit hoher Verlässlichkeit und Genauigkeit die Motorkonstante bestimmen zu können.

**[0009]** Gemäß einer vorteilhaften Ausführung werden die Messwerte während eines Zuspännvorgangs des Bremsmotors, also beim Erzeugen einer elektromechanischen Klemmkraft ermittelt. Während des Zuspännvorgangs können verschiedene Phasen unterschieden werden, u.a. eine Startphase mit hoher Dynamik im Stromverlauf und eine sich daran anschließende Leerlaufphase mit zumindest annähernd konstantem Motorstrom und konstanter Motorspannung. Als dynamische Stromänderungsphase wird insbesondere die Anfangsphase nach dem Einschalten des Bremsmotors herangezogen, wohingegen die Leerlaufphase sich an die Anfangsphase anschließt. Grundsätzlich ist es aber auch möglich, die Strom- und Spannungswerte auch während einer sonstigen Betätigungsphase des elektrischen Brems-

motors zu bestimmen, insbesondere während der Lösephase.

**[0010]** Zweckmäßigerweise wird die Motorkonstante in einem rekursiven Algorithmus berechnet, beispielsweise unter Zugrundelegung der Methode der kleinsten Fehlerquadrate. Während der Stromänderungsphase werden mehrere Stromwerte gemessen, die dem rekursiven Algorithmus zu Grunde gelegt werden. Bei einer ausreichend großen Anzahl an Messwerten können Parameter bestimmt werden, die der Berechnung der Motorkonstanten zu Grunde gelegt werden können.

**[0011]** Die Motorkonstante hängt vom Gesamtwiderstand zwischen der Spannungsquelle und dem Motor ab. Dieser Gesamtwiderstand, der sich additiv aus dem Motorwiderstand und den Leitungswiderständen zusammensetzt, kann als Funktion von Leerlaufspannung und Leerlaufstrom sowie eines ersten Parameters ermittelt werden. Anschließend wird die Motorkonstante unter Berücksichtigung des Gesamtwiderstandes und eines zweiten Parameters berechnet, wobei die ersten und zweiten Parameter in einem rekursiven Algorithmus aus den aktuellen Stromwerten während der dynamischen Stromänderungsphase berechnet werden.

**[0012]** Die Motorkonstante und die aktuell vom elektrischen Bremsmotor gestellte Klemmkraft kann beispielsweise während jeder Betätigung des Bremsmotors, insbesondere zum Erzeugen einer Klemmkraft ermittelt werden. Während des Zuspännvorganges werden die dynamischen Stromwerte, welche unmittelbar nach dem Einschalten des Stroms stark abfallen, gemessen und zwischengespeichert. In der anschließenden Leerlaufphase werden der Leerlaufstrom und die Leerlaufspannung ermittelt und anschließend der rekursive Algorithmus zum Bestimmen der Hilfsvariablen bzw. Parameter durchlaufen, welche der Berechnung des Gesamtwiderstandes und der Motorkonstanten zu Grunde gelegt werden. Bei Kenntnis der Motorkonstanten kann das aktuelle Motorlastmoment und daraus die Klemmkraft bestimmt werden.

**[0013]** Das erfindungsgemäße Verfahren läuft in einem Regel- bzw. Steuergerät im Fahrzeug ab, das Bestandteil der Feststellbremse sein kann.

**[0014]** Weitere Vorteile und zweckmäßige Ausführungen sind den weiteren Ansprüchen, der Figurenbeschreibung und den Zeichnungen zu entnehmen. Es zeigen:

**[0015]** [Fig. 1](#) einen Schnitt durch eine elektromechanische Feststellbremse für ein Fahrzeug, mit einem elektrischen Bremsmotor zur Erzeugung einer das Fahrzeug festsetzenden Klemmkraft,

**[0016]** [Fig. 2](#) den zeitlichen Verlauf verschiedener Zustandsgrößen der Feststellbremse bei einem Zuspännvorgang der Feststellbremse,

**[0017]** [Fig. 1](#) zeigt eine elektromechanische Feststellbremse **1** in einem Fahrzeug, wobei über die Feststellbremse eine das Fahrzeug im Stillstand festsetzende Klemmkraft erzeugbar ist. Die Feststellbremse **1** weist einen Bremssattel **2** mit einer Zange **9** auf, welche eine Bremsscheibe **10** übergreift. Als Stellglied der Feststellbremse **1** fungiert ein als Elektromotor ausgeführter Bremsmotor **3**, der eine Spindel **4** rotierend antreibt, auf der ein Spindelbauteil **5** axial verstellbar und gegenüber dem Gehäuse rotationsfest gelagert ist. Das Spindelbauteil **5** wird axial verstellt, wenn die Spindel **4** rotiert. Das Spindelbauteil **5** bewegt sich innerhalb eines Bremskolbens **6**, der Träger eines Bremsbelages **7** ist, welcher von dem Bremskolben **6** gegen die Bremsscheibe **10** gedrückt wird. Auf der gegenüberliegenden Seite der Bremsscheibe **10** ist ein weiterer Bremsbelag **8** angeordnet, der ortsfest an der Zange **9** gehalten ist.

**[0018]** Das Spindelbauteil **5** kann sich innerhalb des Bremskolbens **6** im Falle einer Drehbewegung der Spindel **4** axial nach vorne in Richtung auf die Bremsscheibe zu bzw. bei einer entgegengesetzten Drehbewegung der Spindel **4** axial nach hinten bis zum Erreichen eines Anschlags **11** bewegen. Um eine gewünschte Soll-Klemmkraft zu erzeugen, beaufschlagt das Spindelbauteil **5** die innere Stirnseite des Bremskolbens **6**, so dass der axial in der Feststellbremse **1** verschieblich gelagerte Bremskolben **6** mit dem Bremsbelag **7** gegen die zugewandte Stirnfläche der Bremsscheibe **10** gedrückt wird.

**[0019]** Auf den Bremskolben wirkt außerdem der hydraulische Druck der regulären, hydraulischen Fahrzeugbremse, mit der das Fahrzeug während der Fahrt abgebremst wird. Der hydraulische Druck kann auch im Fahrzeugstillstand bei Betätigung der Feststellbremse unterstützend wirksam sein, so dass sich die Gesamt-Klemmkraft aus dem elektromotorisch gestellten Anteil und dem hydraulischen Anteil zusammensetzt.

**[0020]** In [Fig. 2](#) ist ein Schaubild mit dem Stromverlauf  $I$ , der Spannung  $U$ , dem Drehzahlverlauf  $\omega$  des elektrischen Bremsmotors, dem Stellweg  $s$  des Spindelbauteils **5**, der erzeugten Klemmkraft  $F_{KI}$  sowie dem Hydraulikdruck  $p$  zeitabhängig für einen Zuspännvorgang dargestellt. Am Anfang von Phase 1 beginnt der Zuspännvorgang, indem eine elektrische Spannung aufgebracht und der Bremsmotor bei geschlossenem Stromkreis unter Strom gesetzt wird. Am Ende von Phase 1 haben die Spannung  $U$  und die Motordrehzahl  $\omega$  ihr Maximum erreicht. Die Phase 2 stellt die Leerlaufphase dar, in welcher der Strom  $I$  sich auf einem Minimumniveau bewegt. Daran schließt sich die Kraftaufbauphase 3 mit anstei-

gender elektromechanischer Klemmkraft an, in der die Bremsbeläge an der Bremsscheibe anliegen und mit zunehmender Klemmkraft gegen die Bremsscheibe gedrückt werden.

**[0021]** In der Phase 4 wirkt zusätzlich der hydraulische Druck  $p$  der Fahrzeugbremse auf den Bremskolben, so dass die gesamte Klemmkraft  $F_{KI}$  sich aus dem vom elektrischen Bremsmotor gestellten Klemmkraftanteil und dem hydraulischen Anteil additiv zusammensetzt. Am Ende von Phase 4 erfolgt das Abschalten des elektrischen Bremsmotors durch Öffnen des Stromkreises, außerdem wird der Pumpenmotor der hydraulischen Fahrzeugbremse abgeschaltet. Demzufolge fallen der hydraulische Druck  $p$ , der Strom  $I$ , die Spannung  $U$  und die Drehzahl  $\omega$  des Bremsmotors **3** auf Null. Die Gesamt-Klemmkraft  $F_{KI}$  wird dabei gehalten.

**[0022]** Um beim Zuspännvorgang den aktuellen Wert der erzeugten Klemmkraft mit hoher Genauigkeit zu bestimmen, wird zunächst die Motorkonstante  $K_M$  ermittelt, aus der gemäß eines bekannten, funktionalen Zusammenhangs die Klemmkraft  $F_{KI}$  berechnet werden kann:

$$F_{KI} = f(K_M)$$

**[0023]** Die Motorkonstante  $K_M$  kann als Funktion des Gesamtwiderstandes  $R_{ges}$ , welcher sich aus der Summe der Einzelwiderstände von Bremsmotor und Leitungen zum Bremsmotor zusammensetzt, unter Berücksichtigung des Massenträgheitsmomentes  $J_{ges}$  des Bremsmotors einschließlich einer nachgeschalteten Getriebeeinheit und einer Abtastzeit  $T_A$  sowie eines Parameters bzw. einer Hilfsgröße  $\gamma_2$  gemäß der Beziehung

$$K_M = \sqrt{\frac{\gamma_2 \cdot R_{ges} \cdot J_{ges}}{T_A}}$$

berechnet werden. Der Gesamtwiderstand  $R_{ges}$  wird als Funktion des Leerlaufstroms  $I_0$ , der Leerlaufspannung  $U_{s0}$  und eines Parameters bzw. einer Hilfsgröße  $\gamma_1$  gemäß

$$R_{ges} = \frac{U_{s0}}{e^{\gamma_1} + I_0}$$

ermittelt. Die beiden Hilfsvariablen bzw. Parameter  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$  werden in einem rekursiven Algorithmus, beispielsweise nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate aus mehreren Messpunkten für den Motorstrom  $I_A$ , die während der dynamischen Stromänderungsphase kurz nach dem Einschalten des Bremsmotors aus den Beziehungen

$$y(n) = \gamma_1 + \gamma_2 \cdot n$$

$$y(n) = \ln(I_A(n) - I_0)$$

berechnet, wobei  $n$  eine ganzzahlige Laufvariable für die aufeinanderfolgenden, diskreten Zeitpunkte bezeichnet, zu denen der Strom  $I_A$  im Abstand der Abtastzeit  $T_A$  gemessen wird.

**[0024]** In **Fig. 3** sind die Phase 1 und die Phase 2 beim Zuspännvorgang des elektrischen Bremsmotors mit dem Verlauf des Motorstroms  $I_A$  dargestellt. Mit dem Einschalten des Bremsmotors erreicht der Motorstrom  $I_A$  einen Peak und fällt anschließend stark ab. Unmittelbar nach Überschreiten des Strompeaks beginnt zum Zeitpunkt  $t_1$  die Messung der Stromwerte bis zum Zeitpunkt  $t_2$  in äquidistanten Zeitabständen entsprechend der Abtastzeit  $T_A$ . Die gemessenen Stromwerte  $I_A$  werden abgespeichert.

**[0025]** In der Phase 1 stellt der Zeitraum zwischen den Zeitpunkten  $t_1$  und  $t_2$  eine dynamische Stromänderungsphase dar, die durch einen hohen Stromgradienten gekennzeichnet ist. Der Startzeitpunkt  $t_1$  und der Endzeitpunkt  $t_2$  können variabel festgelegt werden anhand zugeordneter Gradienten-Schwellenwerte für den Motorstrom. Die Auswertung der Messwerte beginnt, wenn zum Startzeitpunkt  $t_1$  der Stromgradient einen negativen Schwellenwert unterschreitet. Die Auswertung endet zum Endzeitpunkt  $t_2$ , wenn der Stromgradient einen zweiten Schwellenwert überschreitet, wobei der Betrag des zweiten Schwellenwertes kleiner ist als der Betrag des ersten Schwellenwertes.

**[0026]** Phase 2 ist die Leerlaufphase des Bremsmotors, in welcher der Stromgradient zumindest annähernd gleich null ist. In dieser Phase wird zumindest ein Messwert jeweils zur Bestimmung des Leerlaufstromes  $I_0$  und der Leerlaufspannung  $U_{s0}$  bestimmt. Der Zeitpunkt zur Messung hängt vom Gradienten des Stroms bzw. der Spannung ab. Unterschreitet der Gradient einen zugeordneten Schwellenwert, wird die Messung bzw. die Auswertung durchgeführt.

**[0027]** Damit liegen auf der Grundlage von Strom- und Spannungsmessungen während des Zuspännvorganges des elektrischen Bremsmotors alle Informationen vor, um die aktuell wirkende Klemmkraft mit hoher Genauigkeit bestimmen zu können.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- DE 102006052810 A1 [[0002](#)]

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Bereitstellen der von einer Feststellbremse (1) in einem Fahrzeug erzeugten Klemmkraft ( $F_{kl}$ ), die zumindest teilweise von einer elektro-mechanischen Bremsvorrichtung mit einem elektrischen Bremsmotor (3) erzeugt wird, welcher einen Bremskolben (6) gegen eine Bremsscheibe (10) beaufschlagt, wobei die Klemmkraft als Funktion der Motorkonstanten ( $K_M$ ) des Bremsmotors (3) bestimmt und die Motorkonstante ( $K_M$ ) aus aktuellen Messwerten des Motorstroms ( $I_0$ ,  $I_A$ ) ermittelt wird, die während einer Betätigung des Bremsmotors (3) gemessen werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Bestimmung der Motorkonstanten ( $K_M$ ) die Leerlaufspannung ( $U_{s0}$ ) und der Leerlaufstrom ( $I_0$ ) während einer Leerlaufphase am Bremsmotor (3) gemessen und außerdem der Motorstrom ( $I_A$ ) während einer dynamischen Stromänderungsphase ermittelt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Messwerte während eines Spannungsvorgangs des Bremsmotors (3) zum Erzeugen einer Klemmkraft ermittelt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Motorstrom ( $I_A$ ) nach dem Einschalten des Bremsmotors (3) während einer Anfangsphase des Stroms und der Leerlaufstrom während einer darauffolgenden Phase ermittelt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass in der dynamischen Stromänderungsphase mehrere Messwerte des Motorstroms ( $I_A$ ) ermittelt und der Berechnung der Motorkonstanten ( $K_M$ ) zugrunde gelegt werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Motorkonstante ( $K_M$ ) in einem rekursiven Algorithmus berechnet wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Motorkonstante ( $K_M$ ) gemäß der Beziehung

$$R_{ges} = \frac{U_{s0}}{e^{\gamma_1} + I_0}$$

$$K_M = \sqrt{\frac{\gamma_2 \cdot R_{ges} \cdot J_{ges}}{T_A}}$$

berechnet wird, wobei

$R_{ges}$  den Gesamtwiderstand von Bremsmotor und Leitungswiderständen

$U_{s0}$  die Leerlaufspannung am Bremsmotor

$I_0$  den Leerlaufstrom des Bremsmotors

$J_{ges}$  das Massenträgheitsmoment des Bremsmotors einschließlich einer nachgeschalteten Getriebeeinheit

$T_A$  eine Abtastzeit

bezeichnet und  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$  Größen sind, die rekursiv gemäß den Beziehungen

$$y(n) = \gamma_1 + \gamma_2 \cdot n$$

$$y(n) = \ln(I_A(n) - I_0)$$

berechnet werden, wobei

$n$  eine ganzzahlige Laufvariable für aufeinanderfolgende, diskrete Zeitpunkte

$I_A$  den Motorstrom während einer dynamischen Stromänderungsphase

bezeichnet.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Größen  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$  in einem rekursiven Algorithmus berechnet werden, beispielsweise nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate.

8. Regel- bzw. Steuergerät zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7.

9. Feststellbremse in einem Fahrzeug mit einem Regel- bzw. Steuergerät nach Anspruch 8.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

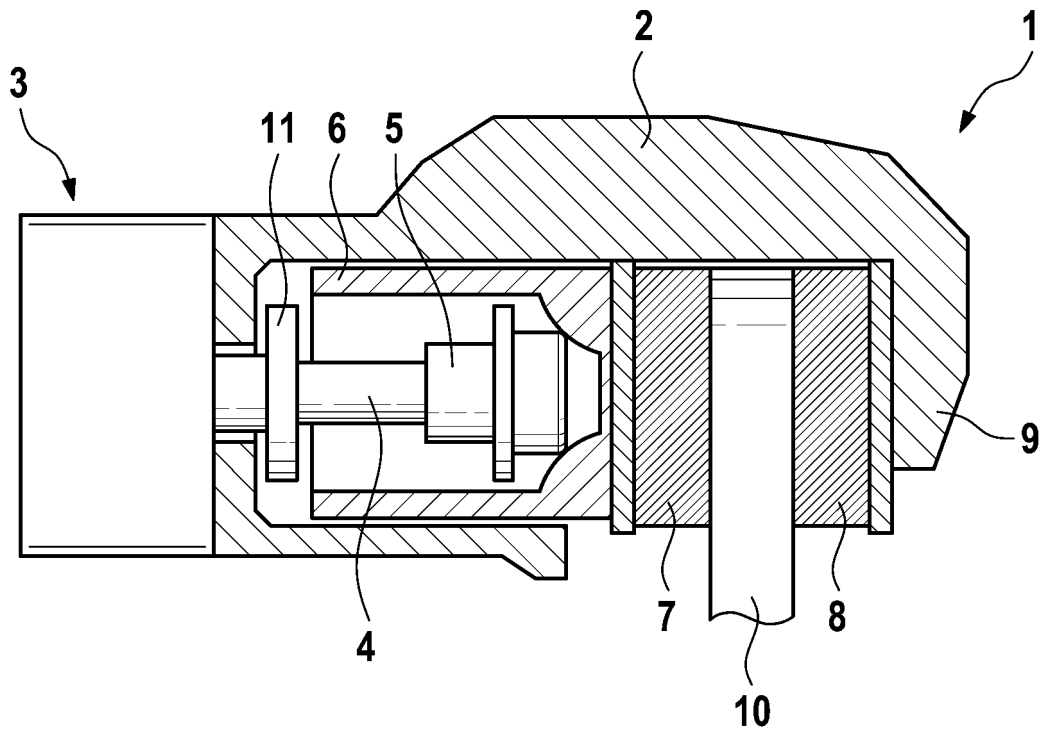


FIG. 1

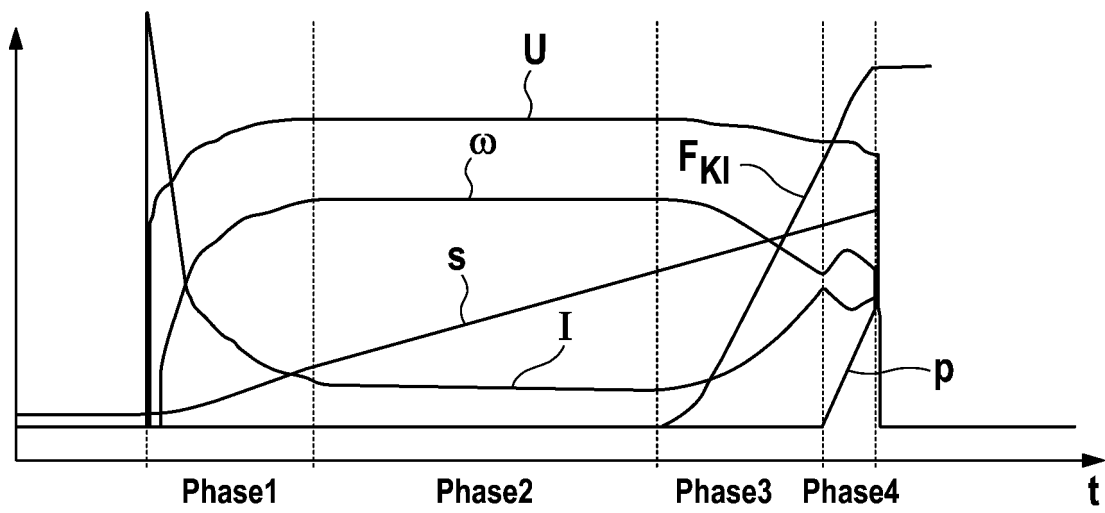
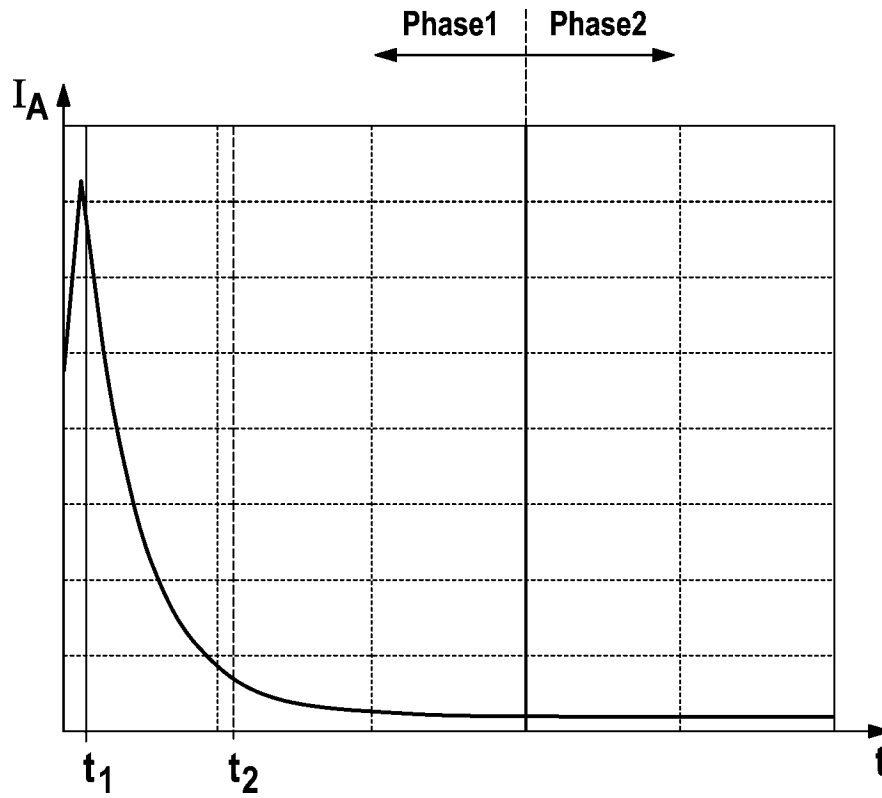


FIG. 2



**FIG. 3**